

风电安装船调度效率对海上风机吊装成本的影响探讨

刘传歌

天津港航工程有限公司 天津 滨海新区 300457

【摘要】：海上风电吊装过程中，风电安装船的调度效率直接关系到风机吊装的成本。由于风电安装船在施工过程中承担着运输、吊装等重要任务，其调度优化对施工进度和成本控制具有重要意义。提高安装船的调度效率可以减少作业时间、降低等待时间，进而减少吊装过程中的不必要支出。因此，研究调度效率的影响因素并提出有效的优化措施，对于降低海上风电吊装成本、提升项目经济效益至关重要。本文通过分析风电安装船调度的关键因素，探讨如何通过优化调度策略减少吊装作业的总成本，以期对相关领域提供理论依据和实践指导。

【关键词】：风电安装船；调度效率；吊装成本；海上风电；成本控制

DOI:10.12417/2811-0722.26.02.009

引言

随着全球对可再生能源需求的增加，海上风电逐渐成为重要的能源来源。海上风电场的建设需要大量的设备和专业船只，风电安装船作为核心设备，承担着海上风机的运输和吊装任务。风电安装船的调度效率直接影响到风机吊装作业的进度与成本。在吊装过程中，若调度不合理，容易导致船只等待、设备闲置等问题，造成时间与资源的浪费，进而推高吊装成本。因此，如何提高风电安装船的调度效率，降低吊装成本，成为海上风电项目中的一个重要课题。优化安装船的调度安排，能够在保证施工质量的前提下，减少不必要的成本支出，提高项目的整体效益。

1 风电安装船调度的关键因素分析

风电安装船调度的关键因素主要涉及设备的可用性、天气条件、施工进度安排以及资源优化等方面。在海上风电吊装过程中，安装船是承担风机运输和吊装的核心设备，其调度安排的效率直接关系到吊装作业的顺利进行和成本的控制。一个高效的调度系统不仅要求合理安排安装船的作业时间，还需要充分考虑到施工现场的具体情况和风电场的建设要求。

设备的可用性是影响风电安装船调度效率的一个关键因素。新一代安装船的性能飞跃能直接提升调度效率的基线，例如，我国第四代风电安装船“电建志高”和“电建志远”组合，完成单台风机安装仅需2至3天，比第三代安装船速度提升30%，并且能够抵御更恶劣的海况，将年有效作业窗口显著延长。船舶的维护周期、故障响应能力及船员熟练度直接影响调度效率。为减少突发状况影响，需对船舶运行状态、维保周期和备件供应实施精细化管理，并在调度系统中前瞻性纳入这些风险因素，以保障施工进度稳定^[1]。

气候与海况是影响调度效率的重要外部因素。强风、浪高等极端天气条件可能导致安装船无法稳定作业，从而影响吊装进度。传统浮式安装年有效作业时间常不足120天，而采用先进动力定位和系泊系统的船舶可将其延长至200天以上，这显

著拓宽了调度优化的窗口。调度系统需依托实时气象与海况数据灵活调整计划。具备弹性的调度方案能够快速响应变化，有效降低天气不确定性带来的影响。施工进度安排是调度效率的核心。合理的安排能最大限度减少船舶闲置，提高使用率。调度系统需精准把握吊装时序，并根据现场情况动态调整各环节配合。通过对船舶、设备、人员等资源的优化配置，可有效减少空转与等待时间，最大化资源利用率，从而降低整体吊装成本。

2 提升风电安装船调度效率的优化策略

提升风电安装船调度效率的优化策略需要综合考虑技术手段、管理方法与流程改进等多个方面。提高调度效率的一个重要策略是利用智能化技术来优化安装船的调度系统。通过引入大数据、人工智能和物联网技术，可以实时监控安装船的运行状况、海况变化和风电场的建设进度，从而制定更加精确的调度计划。安装船的调度不仅需要关注船只的可用性和工作状态，还应考虑到现场施工的具体需求，利用数据分析提前识别潜在的瓶颈，进行精细化调度管理。对于风电项目的调度人员来说，利用智能化平台可以大幅提高信息处理效率，减少人为操作失误，确保调度过程的顺畅。

建立和完善船只的预警机制也是提升调度效率的关键措施。通过实时监控海况、气象变化等外部因素，调度系统可以在不利天气或其他突发情况下提前做出调整。当风力过大或浪高过高时，系统能够自动调整吊装计划，安排安装船进行避险操作。对潜在风险的预测和预警，可以避免船只在不合适的条件下继续作业，从而避免因天气不适导致的项目延期和资源浪费。及时的预警机制还能够有效提高船只的安全性，减少事故发生的概率^[2]。对施工进度进行精确的监控与分析，合理优化资源配置，也对提高调度效率至关重要。通过合理安排安装船的作业顺序和时间间隔，可以有效避免船只之间的冲突和空闲期，最大化地利用每一艘船的作业能力。在进度管理方面，利用项目管理工具与调度系统的结合，可以实现精准的进度跟踪。调度人员可以依据实时反馈信息，迅速调整和优化各项施

工计划，确保各环节无缝衔接，减少等待时间和资源浪费。

提升风电安装船调度效率还需要加强团队协作和船员培训。良好的沟通协调机制能够确保各环节的配合更加紧密，避免因信息传递不及时导致的调度延误。船员的专业能力和应变能力直接影响到吊装作业的顺利进行，因此，定期进行技能培训和应急演练，确保船员能够熟练应对各种复杂情况，也是提升调度效率的重要保障。通过技术手段的引入、管理流程的优化、资源的合理配置以及人员素质的提升，风电安装船的调度效率可以得到显著提高，从而减少吊装作业的时间和成本，推动海上风电项目的顺利实施。

3 风电安装船调度效率与吊装成本的关系探讨

风电安装船的调度效率与吊装成本之间的关系密切，调度效率的提升直接影响吊装作业的整体成本。在海上风电项目中，安装船是完成风机吊装的核心设备，其作业时间和效率决定了整体吊装成本。如果安装船的调度不合理，往往会导致船只空闲、等待或重复作业等情况，这不仅浪费了大量时间，还增加了船只运行和维护的成本。安装船的调度效率提高，可以显著缩短每一阶段作业的时间，减少了设备的空闲期，进而降低了吊装作业的综合成本。在风电安装过程中，吊装作业的时间成本占据了很大比重。船只在海上作业时，通常需要面对复杂的天气和海况，风力过大或浪高过高时，作业不能顺利进行，导致作业延误^[3]。如果调度系统能够实时根据天气和海况变化进行调整，避免在不合适的条件下继续作业，便可以有效减少不必要的停滞时间，降低吊装作业的总时间和成本。

安装船的调度优化还与人员和资源的合理配置密切相关。船只和人员的协调工作至关重要，若人员和设备无法及时到位，可能会导致停工、重启等时间浪费。通过提升船只调度的效率，使得船只、人员和其他资源的配合更加紧密，能够减少资源的空转，从而实现吊装作业成本的进一步降低。对于项目管理者来说，合理安排船只的作业时间、减少非作业期和设备闲置时间，是有效控制吊装成本的关键。风电安装船调度效率直接影响吊装作业的时间和成本，优化调度方案不仅能提高作业效率，还能降低因资源浪费、时间延误等因素造成的额外成本。

4 风电项目吊装成本控制的优化路径

针对吊装成本的优化路径，需从多个层面进行全面调整和改进行。合理的施工进度安排和调度规划是控制吊装成本的基础。通过精确的调度系统，合理安排安装船和吊装设备的工作时间，最大限度地减少设备闲置时间和等待时间。在实际操作中，吊装作业常因天气变化、设备故障等因素导致进度拖延，而优化调度流程，尤其是结合气象和海况数据，能够提前规避不利天气条件，确保吊装作业不因外部因素而被延误，从而有效降低由工期延误所带来的成本增加。安装船的选择与配置直

接影响吊装成本。海上风电安装船的种类和规格应根据风机型号、吊装位置、海域环境等多重因素进行精细化配置。合理选择具备较高吊装能力和作业效率的船只，能够减少单次吊装时间，从而降低单位吊装成本。船只的配置与调度需要在整个施工项目中考虑整体协同，避免因配置不当或船只调度不合理，导致资源浪费。

提升安装船作业效率的关键在于船只的维护和管理。定期的设备检查与维护、及时的故障排除，以及备件的高效供应都能有效减少设备故障和停工时间。船只的高效运行能保证作业不间断，进而避免因停工引发的成本上升。调度系统的实时监控和动态调整也有助于提高船只利用率，减少因计划不当而造成的时间浪费和资源闲置^[4]。提高人员素质和操作技能同样是吊装成本控制中的重要环节。通过优化船员的培训和管理，提升其作业技能和应急处理能力，可以降低操作不当引起的事故和损失，确保吊装作业的顺利进行。船员应熟悉每种作业环境和设备特点，提高工作效率并减少不必要的风险和损失。定期的安全演练和技能培训，不仅能够降低操作中的错误，还能提高作业过程中的适应能力，从而减少因人员因素导致的额外成本。

项目管理软件和信息化工具的引入，也是优化吊装成本的重要途径。利用现代化的信息化平台，可以实时监控整个风电安装过程，提供精准的进度和资源数据，帮助管理者及时发现问题并进行调整。数据分析能够为调度人员提供更为科学的决策依据，优化作业安排，减少浪费。信息化工具还能够对施工现场进行实时监控，保证各环节之间的紧密配合，确保施工进度和吊装作业的高效运行。风电项目吊装成本的优化路径涵盖了调度效率、船只管理、人员培训以及信息化手段的全面提升。

5 风电安装船调度优化的实践案例与效果分析

在风电安装船调度优化的实践中，许多项目通过精确的调度系统和优化方案有效提升了作业效率，显著降低了吊装成本。在某海上风电场项目中，安装船调度系统通过实时监控风机吊装现场的各种数据，对船只的作业时间和调度路径进行智能优化。该系统结合了气象信息、海况数据、设备状况和作业需求，能够在实时变化的海洋环境中动态调整吊装计划。这种智能化调度不仅提高了船只的使用效率，还避免了因天气变化造成的作业停滞，保证了吊装作业的高效推进，进而大大缩短了施工周期，减少了额外成本。

在山东的一个风电场建设项目中，项目团队通过数据驱动的资源整合与港口工艺协同创新，显著提升了效率并降低了成本。施工前，团队针对山东海域海况与风机型号，对各安装船的吊装能力、海况适应性及能耗数据进行深度分析，为不同任务精准匹配最适宜的船舶。这种定制化配置使作业衔接紧密，有效减少了船舶转移和等待空转时间。与此同时，山东港口渤海湾港广利港区在工艺上实现了关键突破：优化叶片支架安装

工艺,使单次摘挂钩时间缩短20分钟;创新采用“两门机一履带吊”协同模式,使单支叶片吊装效率提升30分钟以上;其制定的“L型”积载新方案,突破了海上作业瓶颈,为客户每日节省船租超50万元。该实践表明,海上精准调度与港口效率革新的结合,是释放成本压力、提升项目经济性的关键路径。

实践中,设备管理和维护的优化同样为调度效率提升做出了贡献^[5]。在一项风电项目中,通过对安装船进行全周期的维护和监控,项目管理方发现了船只在高强度作业过程中经常出现的小范围故障,虽然单次故障时间较短,但频繁发生却影响了船只的作业效率。通过优化船只的维修周期与备件管理,项目方实现了快速响应与修复,保证了船只的持续作业,减少了不必要的停机时间。

信息化管理手段的引入也在某些案例中取得了显著效果。在某项目中,采用了现代化的项目管理软件,结合实时数据采集与分析平台,对施工进度、安装船调度及人员配备等进行全面监控。通过系统化的数据分析,管理团队能够提前识别调度中的潜在问题,并及时做出调整。中交三航局研发并推广的“工

程船舶油耗智能监测系统”是数据驱动降本典范。该系统将油耗监测精度提升至 $\pm 2\%$,月度油耗统计时间从3天缩短至4小时,异常响应时间降至8分钟内,让约占运营成本40%-60%的燃油消耗变得完全透明和可控,为调度决策提供了关键的成本维度数据。这种信息化手段提升了吊装效率和进度管控精度,有效减少了调度失误与信息滞后导致的额外成本。实践证明,通过智能化调度、精准资源配置及信息化管理,风电项目显著提高了作业效率并降低了成本,为行业提供了可复制的优化路径,推动了技术进步与管理革新。

6 结语

风电安装船的调度效率与吊装成本密切相关,通过优化调度策略、提升船只运作效率、加强设备管理与信息化手段应用,能够有效降低吊装作业中的成本。实践表明,合理的资源配置和智能化管理手段在实际项目中取得了显著成果,提升了项目整体的经济效益。未来,随着技术的不断进步,风电项目的施工效率将进一步提高,成本将更加可控,为海上风电行业的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] 沈郑明.海上风电安装船船体结构健康监测与评估系统[J].造船技术,2025,53(06):23-30.
- [2] 王羽,陆柠,徐王成,等.海上风电安装船 GFRP 层合板低速冲击特性[J].造船技术,2025,53(05):1-8.
- [3] 傅道成,杨旭,万家平,等.大型海上风电安装船桁架式升降桩腿机械结构设计与有限元仿真分析[J].船舶工程,2024,46(S2):167-173+196.
- [4] 林超辉,曾镜灵,赖柏豪,等.海上风电安装船桩腿动力响应及工况敏感性分析[J].机电工程技术,2024,53(09):1-7.
- [5] 李振华,于金亮,卢智斌.自升式风电安装船升降作业潜在风险分析和应对措施[J].交通世界,2023,(10):50-52+82.